

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АППАРАТОВ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

<sup>1</sup>Халисматов И. Х.,  
<sup>1</sup>Агзамов Ш. К.,  
<sup>1</sup>Наубеев Т. Х.,  
<sup>2</sup>Агзамов Ж. Ш.,  
<sup>1</sup>Сапашов И. Я.,  
<sup>2</sup>Абдикамалов Д. Х.

<sup>1</sup>Ташкентский государственный технический университет имени Абу Райхана Беруни,  
<sup>2</sup>Каракалпакский государственный университет имени Бердаха

**Abstract.** *In the energy sector are increasingly used air-cooled steam condensers, air coolers and oil circulating water turbine units and gas turbine units. This is especially important for the direction of the regions with limited fresh water supplies technical.*

В технологических процессах в качестве охлаждающего агента для отвода теплоты, а также от охлаждаемого оборудования до середины 70-х годов в большинстве случаев использовалась пресная вода. В промышленности потребление воды на цели охлаждения непрерывно увеличивалось, что заметно обострило экологическую обстановку из-за повышения температуры воды в природных водоемах и уменьшения в них содержания кислорода, а также из-за химических загрязнений охлаждаемыми продуктами вследствие разуплотнения теплообменников водяного охлаждения или залповыми загрязнениями в аварийных ситуациях.

Применение энергосберегающих режимов эксплуатации установок воздушного охлаждения, экономичность работы которых главным образом зависит от величины потребляемой электроэнергии на привод вентиляторов охлаждающего воздуха, относится к числу таких мероприятий.

Потенциал энергосбережения, имеющийся на настоящий момент в развитых странах, в частности в России, просто огромен и оценивается в 460 - 540 млн.т.у.т., что составляет примерно половину суммарного потребления первичных топливно-энергетических ресурсов в стране за 1995 г. Современное состояние экономик многих стран таково, что на первый план выдвигается проблема энергосбережения на всех участках хозяйственной деятельности. По оценкам российских экспертов, от четверти до трети этого потенциала может быть реализовано в результате осуществления незатратных или малозатратных мероприятий [1].

Кардинальным решением проблемы сокращения водопотребления в промышленности является замена воды, как рабочего охлаждающего агента, более доступным и дешевым агентом - воздухом. Практическая реализация этой идеи оказалась возможной благодаря разработке и внедрению в производство рекуперативных поверхностных аппаратов воздушного охлаждения (АВО), прежде всего в нефтеперерабатывающую и нефтехимическую промышленность.

Потребление воды в этих отраслях сократилось на 80 - 90%, и в настоящее время трудно представить работу заводов по нефтепереработке, оргсинтезу, производству соды и минеральных удобрений без АВО [2].

Проведенный в [3] анализ современного состояния энергетики мира показывает, что в структуре мирового снабжения первичными топливно-энергетическими ресурсами (ТЭР) доля нефтяного топлива снижается при одновременном увеличении доли природного газа.

Мировая добыча газа за последние 20 лет возросла почти вдвое и в 1996 г. достигла 2,3 трлн, м<sup>3</sup> из которых более четверти приходится на Россию. На долю газа в настоящее время приходится около 30% от общего объема энергетического сырья, добываемого в России, а на 2050 г. намечается увеличение до 50%, что вызовет рост газотранспортных магистралей, возрастет количество газоперекачивающих компрессорных станций и потребляемой мощности [4].

Исключительное применение получили АВО на компрессорных станциях магистральных газопроводов вследствие своих преимуществ перед другими типами теплообменных аппаратов: не требуют размещения станций вблизи источников водоснабжения, нет необходимости в дополнительной подготовке энергоносителей, надежны в эксплуатации, обладают экологической чистотой, имеют простые схемы подключения [5].

Системы воздушного охлаждения в последнем десятилетии нашего века начинают получать распространение и в энергетике из-за дефицита и ухудшения качества технической воды для охлаждения оборудования и, прежде всего, конденсаторов водяного пара [6,7].

Анализ [1 – 7] показывает, что все большее число заказчиков в России, СНГ и за их пределами отдают предпочтение использованию АВО в режиме воздушно-конденсационных установок (ВКУ) в схеме современных паровых турбин. ВКУ следует рассматривать как оборудование, исключая жесткую связь паротурбинной установки с источником водоснабжения. Анализируются также возможности и целесообразность применения АВО в нетрадиционной энергетике, в частности, на геотермальных электростанциях [8].

Можно констатировать, что наряду с находящимися в эксплуатации десятками тысяч АВО спрос на дальнейшее расширенное применение их в ближайшие десятилетия будет непрерывно возрастать при одновременном требовании высокой надежности и улучшении технико-экономических показателей.

В соответствии с существующими методами расчет требуемой площади поверхности теплообмена АВО выполняется по средней для данного района температуре воздуха в 13 часов наиболее жаркого летнего месяца. Следовательно, значительную часть годового времени АВО работают с большим запасом поверхности теплообмена, который увеличивается с понижением температуры атмосферного воздуха. Кроме того, основную часть времени вентиляторы АВО эксплуатируются на номинальном режиме, что приводит к большим годовым расходам электроэнергии. Повышение экономичности и снижение эксплуатационных затрат АВО возможно переводом эксплуатации их в режим естественной конвекции при отключенных вентиляторах в случае достаточно низких температур воздуха, а также в режим периодического включения вентиляторов или отключения части вентиляторов в группе АВО [8,9].

В работах исследователей показано, что при расчетной температуре атмосферного воздуха и отключенных вентиляторах обеспечивается до 30% номинальной тепловой нагрузки аппарата, а в холодный период года при температурах воздуха ниже -15 °С номинальная нагрузка обеспечивается полностью [9,10].

Как правило АВО эксплуатируются в составе технологических линий и установок строго ориентированными температурными графиками и промежуточное недоохлаждение продукта нарушит производственный цикл и вызовет снижение производительности установки по конечному продукту, что в итоге принесет больший экономический ущерб по сравнению с экономией энергии. Для исключения подобных ситуаций необходимо обеспечить надежность температурного регулирования АВО, которая в решающей мере определяется наличием достоверных данных по теплообмену пучков ребристых труб в условиях свободной конвекции.

Сложившее положение в этой области таково, что не представляется возможным выполнение обоснованных расчетов величины теплового потока от АВО в режиме естественной конвекции из-за отсутствия в справочной научно-технической литературе расчетных уравнений по свободно-конвективному теплообмену шахматных пучков труб любых форм оребрения, не только конструктивных ребер этих аппаратов. Этот факт вполне логичен и закономерен, так как до последнего времени не уделялось должного внимания экономии электроэнергии на привод вентиляторов, и поэтому широких исследований в этом направлении не проводилось [11].

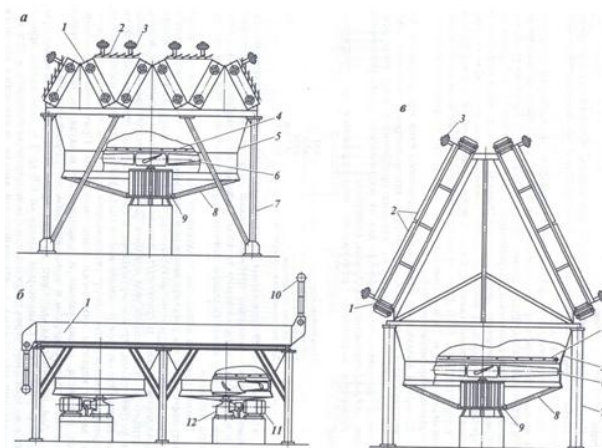


Рис.1. Аппараты воздушного охлаждения

- а – зигзагообразный; б – горизонтальный коллекторного типа; в – шатровый;*  
*1 – секция трубная; 2 – жалюзи; 3 – механизм дистанционного поворота жалюзей;*  
*4 – коллектор впрыска химически очищенной воды; 5 – диффузор; 6 – колесо вентилятора;*  
*7 – металлическая несущая конструкция; 8 – стяжка; 9 – электродвигатель;*  
*10 – коллектор подачи природного газа; 11 – электродвигатель; 12 – редуктор.*

Экспериментальные исследования теплообмена при свободной конвекцией на однорядных пучках из ребристых труб проводились на биметаллических трубах АВО с накатными спиральными ребрами  $\phi = 15,25$ . Очевидно, что имеющихся зависимостей недостаточно для удовлетворительного теплового расчета пучков АВО, так как однорядные компоновки не применяются в современных серийных аппаратах [12].

Все промышленно развитые страны, производящие аппараты воздушного охлаждения, применяют в теплообменных секциях биметаллические трубы с непрерывными спиральными ребрами. Можно выделить два основных типа спиральных ребер, отличающихся технологическим процессом изготовления ребра, сформированные в процессе поперечно-винтового накатывания из толстостенной алюминиевой заготовки; ребра, изготовленные спиральной навивкой алюминиевой ленты [13].

Целесообразным является применение в пучках АВО труб оребренных навитой и завальцованной алюминиевой лентой. Оребрение труб лентой было полностью сконцентрировано на Таллинском машиностроительном заводе им. Лауристина, который производил 50...60% ребристых труб в отрасли бывшего Минхиммаша Союза, а после распада Союза этот завод находится на территории другого государства. Для переориентации оставшихся двух российских заводов, поскольку производство оребренных труб для АВО в Российской Федерации осуществляется лишь на Бугульминском механическом заводе и АО "БОРХИММАШ" в г. Борисоглебске, которые специализируются на выпуске биметаллических труб с накатным оребрением по технологии ВНИИМЕТМАШ, а на оребрение труб лентой потребуются значительные инвестиции [14].

На настоящий момент, приоритетной является задача по исследованию свободно-конвективного теплообмена в пучках из биметаллических труб с накатным оребрением.

Основой развития АВО являлись биметаллические трубы, оребренные накаткой с коэффициентом оребрения  $\phi = 15...20$  и наружным диаметром ребра  $d = 56 - 57$  мм. Наружный диаметр несущей трубы 25 мм, толщина стенки 2 мм. Ребристая оболочка выполняется из алюминиевых сплавов, а несущая труба из черных или цветных металлов с учетом коррозионности охлаждаемого продукта [14].

Современная экономическая и экологическая ситуация, сложилась таким образом, что заставляет искать пути снижения электропотребления, практически полное отсутствие исследований по свободной конвекции в пучках оребренных труб обосновывают актуальность задачи по созданию надежной методики теплового расчета АВО при эксплуатации в режиме

свободной конвекции и разработке рекомендаций по выбору эффективных конструкторско-компоновочных решений для системы подачи охлаждающего воздуха.

В Республике Узбекистан производство аппаратов воздушного охлаждения успешно освоено на ОАО «Узбекхиммаш», выпускаются АВО различных типоразмеров и модификаций. Потребность нефтегазоперерабатывающей промышленности нашей республики в АВО обеспечивается данным производством.

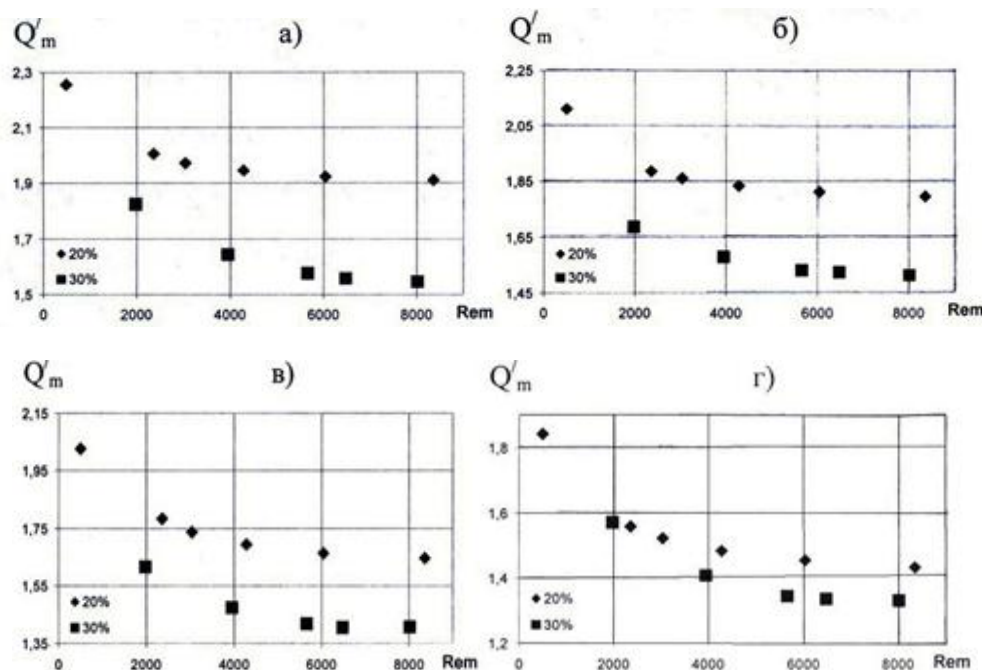


Рис.2. Зависимость эффективности теплосъёма в аппаратах воздушного охлаждения от числа Рейнольдса охлаждаемого раствора в виде  $Q' = f(Re_m)$ , при  $t_z = 60^\circ\text{C}$ ,  $\rho = 0,0013 \text{ кг/кг}$ ;

а)  $W_y = 6,13 \text{ м/с}$ ; б)  $W_y = 4,12 \text{ м/с}$ ; в)  $W_y = 2,46 \text{ м/с}$ ; г)  $W_y = 1,29 \text{ м/с}$ ;

Следует отметить, что нефте и газоперерабатывающие предприятия расположены в южных регионах Республики, поэтому для эффективной эксплуатации промышленных АВО важное значение имеет среднегодовая температура окружающего воздуха. Как правило, при эксплуатации АВО для снятия пиковых нагрузок в жаркое время года предусмотрено увлажнение воздуха для его адиабатического охлаждения. Для этого в диффузоре после вентилятора установлены форсунки для впрыска воды (рис.1.). При попадании в поток воздуха мелкодиспергированная вода испаряется, достигается адиабатическое охлаждение воздушного потока, при этом его температура понижается на  $10 - 18^\circ\text{C}$  и на теплообменные секции АВО поступает сухой, но уже охлажденный поток воздуха. Расход воды, при котором происходит полное ее испарение, выбирается минимальным [15 – 18].

Авторами работы представлены результаты сравнительного исследования интенсивности теплосъёма с оребренной поверхности теплообмена АВО при «сухом» воздушном и воздушно – водоиспарительном охлаждении (рис.2.).

На рис.2 представлены результаты сравнительного экспериментального исследования зависимости интенсивности теплосъёма при охлаждении 20% и 30% водных растворов ДЭА, при различных значениях  $Re_m$  и  $Re_v$ , при температуре охлаждаемого раствора на входе в АВО  $t_r^{вх} = 60^\circ\text{C}$ . Анализ полученных данных показывает, что интенсивность теплосъёма при использовании воздушно-водоиспарительного охлаждения возрастает, влияние  $C_p$  на теплосъём раствора в указанном интервале ее изменения существенно при больших значениях  $W_y$ , с уменьшением скорости воздушного потока, разница в  $Q$  незначительна.

Анализ полученных значений показал, что в широком интервале изменения  $t_{\Gamma}^{BX}$ , интенсивность теплосъёма при воздушно-водоиспарительном охлаждении в 1.6 – 3.5 раза выше, чем при обычном «сухом» воздушном охлаждении.

Полученные экспериментальные данные по интенсивности теплообмена и теплосъёма были аппроксимированы уравнением в виде [19 – 21]:

$$Q = f(Re_m; Re_v; \rho; C_p; W_y; t_{\Gamma}^{BX}) \quad (1)$$

При этом, для расчета интенсивности теплосъёма при воздушно-водоиспарительном охлаждении с погрешностью  $\pm 10\%$ , может быть рекомендована зависимость:

$$Q' = \frac{Q}{Q_0} = \left[ \frac{8020}{Re_m} \left( 1 + \frac{Re_v}{8553} \right) \right]^{0.5} \times \left[ \left( 0.2 + \frac{2}{P_f} \right) \times \left( 1 + \frac{t_{\Gamma}^{BX}}{80} \right) \right]^{0.2} \times \left( \frac{C_0}{30} \right)^{0.7} \quad (2)$$

**ВЫВОДЫ.** Общий принцип АВО, основанный на использовании в качестве охлаждающей среды атмосферного воздуха, предопределил то, что основные конструктивные различия АВО заключаются в способе пространственного расположения теплопередающей поверхности и взаимном расположении теплопередающей поверхности и вентилятора, обеспечивающего перемещение охлаждающей среды.

Таким образом, использование систем воздушного охлаждения по сравнению с традиционными теплообменниками имеет технико-экономические преимущества: упрощается обслуживание, сокращаются эксплуатационные затраты на охлаждение природного газа, исключается потребление технической воды в больших количествах и т.д.

Такая технология охлаждения газа является энергосберегающей, при этом в условиях жаркого климата необходимо использовать воздушно-водоиспарительное охлаждение воздушного потока путем распыления мелкодиспергированной воды с помощью форсунок конструкции ТашГТУ, при этом расположение коллектора с форсунками должно обеспечивать полное испарение распыляемой жидкости и подачу на теплообменные секции АВО сухого, но существенно охлажденного воздушного потока.

Условные обозначения:  $Q_0$ ,  $Q$  – соответственно величины теплосъёма с оребренной поверхности теплообмена при «сухом» воздушном и воздушно-водоиспарительном охлаждении;  $Re_m$ ,  $Re_v$  – числа Рейнольдса, соответственно охлаждаемой среды и охлаждающего воздуха;  $\rho$  – «плотность» орошения воздушного потока, кг / кг;  $C_p$  – 20% и 30% водный раствор диэтаноламина;  $W_y$  – скорость охлаждающего воздуха в узком сечении теплообменной секции, м / сек;  $t_{\Gamma}^{BX}$  – температура охлаждаемой среды на входе в теплообменную секцию, °С.  $P_f$  – давление воды на её распыление с помощью форсунок конструкции ТашГТУ, кг / см<sup>2</sup>.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Асланян Г.С., Молодцов С.Д., Соловьянов А.А. Энергосбережение как важнейший компонент природоохранной политики // Теплоэнергетика. -1998 -№1.- С. 76-80.
2. Вольфберг Д.Б. Состояние и перспективы развития энергетики мира // Теплоэнергетика, 1998. - №9. - С. 28-34
3. Бахмат Г.В., Еремин Н.В., Степанов О.А. Аппараты воздушного охлаждения газа на компрессорных станциях. СПб.: Недра, 1994. - 102 с.
4. Еремин Н.В., Степанов О.А., Яковлев Е.И. Компрессорные станции магистральных газопроводов. СПб.: Недра, 1995. - 336 с.
5. Воздушные конденсаторы для паротурбинных установок малой и средней мощности. / О.О. Мильман, В.А. Федоров, В.И. Лавров и др. // Теплоэнергетика. 1998. №1, с. 35-39.
6. Королев И.И., Генова Е.В., Бенклян С.Э. О комбинированных системах охлаждения ТЭЦ. // Теплоэнергетика. 1996. - № 11. - С. 49-55.
7. Васильев В.А., Ильенко В.В. Разработка опытной модульной геотермальной электростанции для европейской части России // Теплоэнергетика. -1993. -№4. С. 30-33.



8. Марголин Г.А. Рекомендации по расчету и использованию вытяжного устройства в холодильниках воздушного охлаждения газоперекачивающих агрегатов // Транспорт и хранение газа. Реф. научн.- техн. сб. / ВНИИЭгазпром. 1974. – Вып. 7. - с.3 - 8.
9. Эксплуатация систем воздушно-водяного охлаждения в режиме естественной конвекции / Ю.Н. Васильев, В.С. Золотаревский, Г.А. Марголин, Н.П. Крюков // Газовая промышленность. 1972. - №6. - С. 23-25.
10. Мартыненко О.Г., Соковишин Ю.А. Свободно-конвективный теплообмен: Справочник. Минск.: Наука и техника, 1982. - 400 с.
11. Основы расчета и проектирования теплообменников воздушного охлаждения: Справочник / А.Н. Бессонный, Г.А. Дрейцер, В.Б. Кунтыш и др.:Под общ. ред.В.Б. Кунтыша, А.Н. Бессонного. СПб.: Недра, 1996. -512 с.
12. Кунтыш В.Б., Кузнецов Н.М.Тепловой и аэродинамический расчеты ребренных теплообменников воздушного охлаждения. СПб.: Энергоатомиздат, 1992. - 280 с.
13. Самородов А.В., Рошин С.П., Кунтыш В.Б. Лучистый теплообмен одиночной ребристой трубы с окружающей средой. // Сб. науч.тр.: Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов. - Архангельск, АГТУ, 1997. вып. 2. с. 102-113.
14. Самородов А.В. Исследование свободно-конвективного теплообмена трехрядных наклонных шахматных пучков из труб с накатными спиральными ребрами // Известия вузов, Энергетика. 1998. – №2. – С. 76-82.
15. Агзамов Ш.К. Исследование процессов увлажнения воздуха и интенсификации теплообмена при воздушно – водоиспарительном охлаждении. // Четвертая российская национальная конференция по теплообмену, РНКТ – 4, М.: МЭИ, 2006 г., Том 5, стр.35 – 37.
16. Агзамов Ж.Ш., Агзамов Ш.К. Интенсификация процесса теплопередачи в теплообменниках воздушного охлаждения. // Материалы XIX - Школы семинара молодых ученых и специалистов под руководством академика РАН А.И. Леонтьева «Проблемы газодинамики и тепломассообмена в энергетических установках», 20-24 мая 2013 года, г. Орехово – Зуево, Россия.
17. Агзамов Ш.К., Амиркулов Н.С., Агзамов Ж.Ш. Интенсификация теплоотдачи в аппаратах воздушного охлаждения. // Материалы XIX - Школы семинара молодых ученых и специалистов под руководством академика РАН А.И. Леонтьева «Проблемы газодинамики и тепломассообмена в энергетических установках», 20-24 мая 2013 года, г.Орехово – Зуево, Россия.
18. Агзамов Ш.К., Амиркулов Н.С., Агзамов Ж.Ш. Повышение эффективности процесса тепло обмена в аппаратах воздушного охлаждения. Узбекский журнал нефти и газа, 2013г., № 3, стр. 50 – 52.
19. Agzamov Sh.K., Ulugov Sh.B. Intensification of process of colling of viscous environments in devices of air cooling, Proceeding of the I-st seminar among ALM, Tashkent state Technical University, and Ustoz Republican Foundation in 2003. The Opportunites for Application of Education and Ekonomik Growth. July 3 – 5, 2003, Tashkent, Uzbekistan, TSTU, p.p.101–103.
20. Особенности процесса охлаждения вязких сред в аппаратах воздушного охлаждения. // Агзамов Ш.К., Улугов Ш.Б. //«Химическая промышленность сегодня», 2004г., №12, стр.43-47.
21. Интенсификация процесса охлаждения вязкой среды в аппаратах воздушного охлаждения. / Агзамов Ш.К., Улугов Ш.Б. // Известия ВУЗов «Проблемы энергетики», 2004г., №5-6, стр.56-60.